



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**22.07.2015 Patentblatt 2015/30**

(51) Int Cl.:  
**F04D 19/04<sup>(2006.01)</sup> F04D 29/26<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **14197861.9**

(22) Anmeldetag: **15.12.2014**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(72) Erfinder:  
 • **Bader, Florian**  
**35415 Pohlheim (DE)**  
 • **Wille, Thilo**  
**57334 Bad Laasphe - Banfe (DE)**

(30) Priorität: **21.01.2014 DE 102014100622**

(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR**  
**Martin-Greif-Strasse 1**  
**80336 München (DE)**

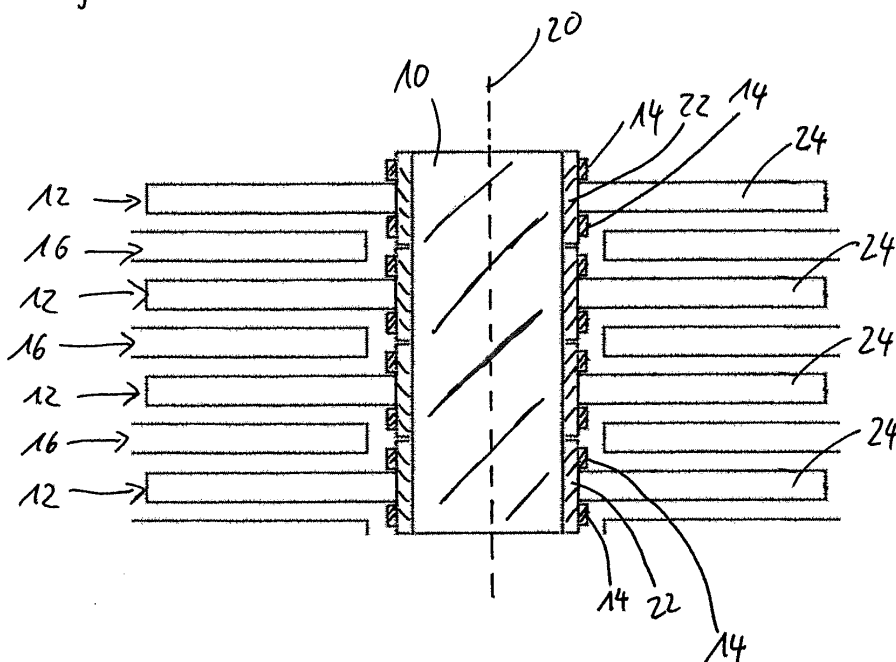
(71) Anmelder: **PFEIFFER VACUUM GMBH**  
**35614 Asslar (DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung einer Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe und Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe und Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe, welche eine Rotorwelle (10), wenigstens eine mit der Rotorwelle verbundene Rotor-scheibe (12) und wenigstens einen die Rotor-scheibe

umgebenden Armierungsring (14) aufweist. Das Verfahren umfasst, dass zwischen dem Armierungsring (14) und der Rotorscheibe (12) eine Querspressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung oder eine Schrumpfpres-sverbindung, ausgebildet wird.

Fig. 3



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe, und eine Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe.

**[0002]** Vakuumpumpen, wie zum Beispiel Turbomolekularpumpen, werden in unterschiedlichen Bereichen der Technik, wie z.B. in der Halbleiterherstellung, eingesetzt, um ein für den jeweiligen Prozess notwendiges Vakuum zu schaffen. Eine Turbomolekularpumpe umfasst typischerweise eine Rotorwelle, mehrere mit der Rotorwelle verbundene Rotorscheiben sowie zwischen den Rotorscheiben angeordnete Statorscheiben, wobei die Rotor- und Statorscheiben jeweils Schaufeln aufweisen, welche eine pumpaktive Struktur bilden und bei der schnellen Drehung der Rotoranordnung relativ zu dem Stator die gewünschte Pumpwirkung bereitstellen.

**[0003]** Um die Rotorscheiben drehfest mit der Rotorwelle zu verbinden, ist es bekannt, die Rotorscheiben jeweils auf die Rotorwelle aufzuschumpfen. EP 1 096 152 A2 und EP 0 967 405 A2 offenbaren ein alternatives Verfahren, bei dem die Rotorscheiben jeweils durch einen Klemmring drehfest mit der Rotorwelle verbunden werden.

**[0004]** WO 2009/049988 A1 offenbart eine Turbomolekularpumpe mit mehreren Rotorscheiben, die jeweils von einem zylindrischen Armierungsrohr außenseitig spielfrei umfasst sind. Das Armierungsrohr dient dazu, die Festigkeit des Rotors zu erhöhen und die Gefahr eines sogenannten "Bursts", d.h. eines Bruchs des Rotors, bzw. die dabei frei werdenden Zerstörungskräfte zu reduzieren.

**[0005]** Da die drehfeste Verbindung zwischen den Rotorscheiben und der Rotorwelle bei den bekannten Vakuumpumpen eine begrenzte Festigkeit aufweist, sind die maximale Drehzahl und das maximale Drehmoment, mit denen diese Vakuumpumpen betrieben werden können, und folglich die mit den Vakuumpumpen erreichbaren Pumpleistungen begrenzt.

**[0006]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren anzugeben, mit dem eine Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe, hergestellt werden kann, die eine hohe Pumpleistung gewährleistet und insbesondere auch gefahrlos mit sehr hohen Drehzahlen und Drehmomenten betrieben werden kann. Aufgabe der Erfindung ist ferner die Angabe einer entsprechenden Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe.

**[0007]** Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0008]** Das Verfahren dient zur Herstellung einer Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe, welche eine Rotorwelle, wenigstens eine mit der Rotorwelle verbundene Rotorscheibe und wenigstens einen die Rotorscheibe umgebenden Armierungsring aufweist. Das Verfahren um-

fasst, dass zwischen dem Armierungsring und der Rotorscheibe eine Querpressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung oder Schrumpfpessverbindung, ausgebildet wird.

**[0009]** Durch die Querpressverbindung können der Armierungsring und die Rotorscheibe dauerhaft und mit einer hohen Drehfestigkeit miteinander verbunden werden. Eine Vakuumpumpe mit miteinander querpressverbundenen Armierungsringen und Rotorscheiben kann daher auch bei sehr hohen Drehzahlen betrieben werden bzw. ein sehr hohes Drehmoment erreichen, so dass mit der Vakuumpumpe hohe Pumpleistungen erzielt werden können.

**[0010]** Eine Dehnpressverbindung zwischen dem Armierungsring und der Rotorscheibe kann dadurch ausgebildet werden, dass die Rotorscheibe abgekühlt wird, der Armierungsring dann auf die Rotorscheibe gesetzt oder gesteckt wird, wobei sich die Rotorscheibe bei Erwärmung ausdehnt und dabei die Dehnpressverbindung ausgebildet wird.

**[0011]** Durch Aufschumpfen kann der Armierungsring die Schrumpfpessverbindung mit der Rotorscheibe eingehen, welche wie die Dehnpressverbindung eine sehr hohe Festigkeit aufweist, wobei der Armierungsring wie bei der Dehnpressverbindung die äußere Komponente und die Rotorscheibe die innere Komponente der Schrumpfpessverbindung bildet.

**[0012]** Es hat sich herausgestellt, dass der Verbund aus der Rotorscheibe und dem Armierungsring aufgrund seiner erhöhten Festigkeit eine deutlich festere Verbindung mit der Rotorwelle eingeht, als es mit der Rotorscheibe alleine möglich wäre, beispielsweise wenn die Rotorscheibe auf die Rotorwelle aufgeschumpft wird, so dass ein sicherer Sitz der Rotorscheibe auf der Rotorwelle gewährleistet wird. Die mit dem Verfahren hergestellte Rotoranordnung weist daher eine äußerst hohe Festigkeit auf und kann auch problemlos bei sehr hohen Drehzahlen und Drehmomenten betrieben werden, welche eine hohe Pumpleistung ermöglichen. Die Gefahr eines Bursts wird durch die durch den Armierungsring bereitgestellte Verstärkung erheblich reduziert, so dass auch bei hohen Pumpleistungen ein sicherer Betrieb der Vakuumpumpe gewährleistet ist.

**[0013]** Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Figuren beschrieben.

**[0014]** Zur Ausbildung der Querpressverbindung zwischen dem Armierungsring und der Rotorscheibe ist es vorteilhaft, wenn die Rotorscheibe abgekühlt wird und der Armierungsring dann auf die abgekühlte Rotorscheibe aufgebracht wird. Wenn sich die Rotorscheibe wieder erwärmt, wird die Querpressverbindung zwischen dem Armierungsring und der Rotorscheibe ausgebildet.

**[0015]** Zur Ausbildung der Schrumpfpessverbindung ist es vorteilhaft, wenn der Armierungsring erwärmt und dann auf die Rotorscheibe aufgebracht wird. Wenn sich der Armierungsring wieder abkühlt, zieht er sich zusammen und bildet dabei die Schrumpfpessverbindung mit

der Rotorscheibe aus.

**[0016]** Zur Ausbildung der Querpressverbindung zwischen der Rotorscheibe und dem darauf sitzenden Armierungsrings sind der Außendurchmesser der Rotorscheibe und der Innendurchmesser des Armierungsrings bevorzugt in Art einer Presspassung relativ zueinander ausgebildet. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Querpressverbindung eine hohe Drehfestigkeit zwischen der Rotorscheibe und dem Armierungsrings bewirkt.

**[0017]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst die Rotorscheibe zwei axiale Enden, wobei an beiden axialen Enden jeweils ein Armierungsrings auf die Rotorscheibe aufgebracht und die Querpressverbindung zwischen dem jeweiligen Armierungsrings und der Rotorscheibe ausgebildet wird. Durch die Verwendung zweier Armierungsrings an den beiden axialen Enden der Rotorscheibe wird die Festigkeit der armierten Rotorscheibe und der Verbindung zwischen der Rotorscheibe und der Rotorwelle zusätzlich erhöht.

**[0018]** Das Querpressverbinden kann prinzipiell ein Erwärmen der äußeren Komponente, d.h. des Armierungsrings, umfassen und/oder ein Kühlen der inneren Komponente, d.h. der Rotorscheibe. Die jeweilige Komponente kann dabei auf eine Temperatur deutlich oberhalb bzw. unterhalb der Raumtemperatur erwärmt bzw. gekühlt werden. Ein Kühlen, insbesondere der Rotorscheibe, kann zum Beispiel unter Verwendung von flüssigem Stickstoff erfolgen.

**[0019]** Bevorzugt wird der Armierungsrings nur mit genau einer Rotorscheibe verbunden, d.h. der Armierungsrings ist nicht mit mehr als einer Rotorscheibe und somit ausschließlich mit einer einzigen Rotorscheibe verbunden. Der Armierungsrings wird somit genau einer Rotorscheibe zugeordnet. Der Armierungsrings kann bei dieser Ausgestaltung unabhängig von weiteren Rotorscheiben gehandhabt und insbesondere mit der Rotorwelle verbunden werden. Wie nachfolgend erläutert, wird dadurch eine besonders einfache Montage der Rotoranordnung insgesamt ermöglicht.

**[0020]** Das Verfahren umfasst vorzugsweise ein drehfestes Verbinden der Rotorscheibe mit der Rotorwelle, welches bevorzugt nach dem Querpressverbinden des Armierungsrings mit der Rotorscheibe erfolgt.

**[0021]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform wird die Rotorscheibe, insbesondere nach dem Querpressverbinden mit dem Armierungsrings, auf die Rotorwelle aufgebracht. Dabei wird bevorzugt zwischen der Rotorscheibe und der Rotorwelle eine Querpressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung oder eine Schrumpfpessverbindung, ausgebildet. Es kann folglich zum Beispiel eine Schrumpfpessverbindung zwischen der Rotorscheibe und der Rotorwelle geschaffen werden, wobei die Rotorscheibe die äußere Komponente und die Rotorwelle die innere Komponente der Schrumpfpessverbindung darstellt. Wenn auf die Rotorscheibe bereits ein Armierungsrings zum Beispiel aufgeschumpft wurde, wird bei dem Aufschumpfen der Ro-

torscheibe auf die Rotorwelle aufgrund der durch den Armierungsrings erzielten erhöhten Festigkeit der armierten Rotorscheibe eine deutlich erhöhte Festigkeit der Verbindung zwischen der Rotorscheibe und der Rotorwelle erreicht.

**[0022]** Das Querpressverbinden der Rotorscheibe mit der Rotorwelle kann ein Erwärmen der äußeren Komponente, d.h. der Rotorscheibe, und/oder ein Kühlen der inneren Komponente, d.h. der Rotorwelle, umfassen, wobei das Erwärmen bzw. Kühlen jeweils ein Erwärmen bzw. Kühlen auf eine Temperatur deutlich oberhalb bzw. unterhalb der Raumtemperatur umfassen kann. Das Kühlen kann unter Verwendung von flüssigem Stickstoff erfolgen.

**[0023]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst das Querpressverbinden bzw. das Dehnpressverbinden der Rotorscheibe auf die Rotorwelle ein Kühlen der Rotorwelle. Ein Erwärmen der Rotorscheibe kann bei dieser Ausgestaltung zusätzlich erfolgen oder unterbleiben. Das Kühlen der Rotorwelle ist vorteilhaft, da sich die gekühlte Rotorwelle deutlich stärker verformen kann als eine entsprechend erwärmte Rotorscheibe mit einem Armierungsrings, da der Armierungsrings die Wärmeausdehnungsfähigkeit der Rotorscheibe verringern kann.

**[0024]** Das Verfahren dient vorzugsweise zur Herstellung einer Rotoranordnung mit mehreren mit der Rotorwelle verbundenen Rotorscheiben, welche vorzugsweise in axialer Richtung aufeinander folgen. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform werden dementsprechend mehrere Rotorscheiben auf die Rotorwelle aufgebracht. Vorzugsweise wird auf die Rotorscheiben jeweils wenigstens ein Armierungsrings aufgebracht, und zwar insbesondere in der vorstehend in Bezug auf die wenigstens eine Rotorscheibe beschriebenen Weise durch Querpressverbinden, wobei z.B. ein Aufschumpfen des Armierungsrings auf die Rotorscheibe bevorzugt vor dem Aufbringen der jeweiligen Rotorscheibe auf die Rotorwelle erfolgt. Zum Aufbringen der Rotorscheiben auf die Rotorwelle können die Rotorscheiben jeweils in der vorstehend in Bezug auf die wenigstens eine Rotorscheibe beschriebenen Weise mit der Rotorwelle querpressverbunden werden.

**[0025]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform werden die Rotorscheiben in einem gemeinsamen Prozess mit der Rotorwelle verbunden. Dazu kann die Rotorwelle gekühlt und die Rotorscheiben können daraufhin auf die Rotorwelle aufgebracht werden, so dass die Rotorscheiben bei der darauffolgenden Erwärmung der Rotorwelle gemeinsam mit der Rotorwelle verbunden werden. Der Aufwand für die Herstellung der Rotoranordnung wird dadurch gering gehalten.

**[0026]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform werden die Rotorscheiben einzeln auf die Rotorwelle aufgebracht und insbesondere mit der Rotorscheibe querpressverbunden. Das bedeutet, dass die Rotorscheiben in vereinzelter Form auf die Rotorwelle aufgebracht werden, ohne dass die Rotorscheiben in selbsttragender Weise miteinander zusammenhängen. Durch die Unab-

hängigkeit der Rotorscheiben voneinander wird eine einfachere Handhabung der Rotorscheiben bei dem Aufbringen auf die Rotorwelle und eine bessere Verbindung zwischen den Rotorscheiben und der Rotorwelle gewährleistet.

**[0027]** Das in der vorliegenden Beschreibung beschriebene Verfahren zur Herstellung einer Rotoranordnung kann grundsätzlich Bestandteil eines Verfahrens zur Herstellung einer Vakuumpumpe sein, die die Rotoranordnung umfasst. Gegenstand der Erfindung ist dementsprechend auch ein Verfahren zur Herstellung einer Vakuumpumpe, welches die Herstellung einer Rotoranordnung nach dem in dieser Beschreibung beschriebenen Verfahren umfasst.

**[0028]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform werden die Rotorscheiben derart auf die Rotorwelle aufgebracht, dass sich diese in der Vakuumpumpe in axialer Richtung mit zwischen den Rotorscheiben liegenden Statorscheiben abwechseln, wobei die Statorscheiben bevorzugt an einem Gehäuse der Vakuumpumpe angeordnet sind oder angeordnet werden. Dadurch wird eine Anordnung geschaffen, bei der sich die Rotorwelle sowohl durch die Rotorscheiben als auch durch die sich mit den Rotorscheiben in axialer Richtung abwechselnden Statorscheiben hindurch erstreckt und die z.B. für die Verwendung in einer Turbomolekularpumpe geeignet ist.

**[0029]** Da die Statorscheiben bereits bei der Zusammensetzung der Rotoranordnung auf die Rotorwelle drehbar aufgefädelt und zwischen die Rotorscheiben eingebracht werden können, ist es nicht erforderlich, geteilte Statorscheiben zu verwenden, die nach dem vollständigen Aufbau der Rotoranordnung zwischen den Rotorscheiben zusammengesetzt werden. Stattdessen können Statorscheiben verwendet werden, die jeweils durch einen einteilig zusammenhängenden und insbesondere materialeinheitlichen Körper gebildet sind. Diese einteiligen Statorscheiben können jeweils eine durchgehende Öffnung aufweisen, durch die die Rotorwelle bei der Herstellung der Rotoranordnung hindurch geführt wird. Die Herstellung einer Vakuumpumpe wird dadurch erheblich vereinfacht, da die Rotoranordnung und die Statorscheiben in einem gemeinsamen Verfahrensschritt aufgebaut werden können.

**[0030]** Der Armierungsring kann ganz oder teilweise aus einem Material bestehen, welches von einem Material der wenigstens einen Rotorscheibe verschieden ist. Insbesondere kann der Armierungsring ein Material aufweisen, welches in zumindest einer Richtung, insbesondere in der Umfangsrichtung des Armierungsrings, eine größere Zugfestigkeit aufweist, als das Material der Rotorscheibe. Dadurch wird eine besonders hohe Festigkeit des Verbunds aus dem Armierungsring und der Rotorscheibe erreicht.

**[0031]** Besonders gute Ergebnisse im Hinblick auf die Festigkeit der Verbindung und die mit der Rotoranordnung erreichbare Pumpleistung werden erzielt, wenn der Armierungsring ganz oder teilweise aus einem Material besteht, welches in zumindest einer Richtung, insbeson-

dere in der Umfangsrichtung des Armierungsrings, eine Zugfestigkeit von wenigstens 500 MPa, bevorzugt wenigstens 600 MPa, besonders bevorzugt wenigstens 700 MPa und höchst bevorzugt wenigstens 800 MPa aufweist. Vorzugsweise wird ein Material mit einer Zugfestigkeit von mehr als 700 MPa verwendet.

**[0032]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform besteht der Armierungsring ganz oder teilweise aus einem faserverstärkten Kunststoff, insbesondere einem kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff (CFK). Vorzugsweise weist der Kunststoff High Tenacity (HT) Fasern oder Super Tenacity (ST) Fasern auf, die eine noch höhere Festigkeit als HT-Fasern haben. Aufgrund der hohen Zugfestigkeit dieses Materials wird eine besonders feste Verbindung zwischen dem Armierungsring und der Rotorscheibe sowie zwischen der Rotorscheibe und der Rotorwelle erreicht.

**[0033]** Die Rotorscheibe und/oder die Rotorwelle und/oder zumindest eine Statorscheibe kann ganz oder teilweise aus einem metallischen Material bestehen, welches Aluminium enthalten bzw. durch Aluminium oder durch eine Aluminiumlegierung gebildet sein kann. Die Rotorscheibe und/oder zumindest eine Statorscheibe ist vorzugsweise durch einen einteilig zusammenhängenden und insbesondere materialeinheitlichen Körper gebildet, welcher insbesondere durch eine materialentfernende, insbesondere spanabhebende, Bearbeitung eines Rohkörpers hergestellt sein kann.

**[0034]** Eine besonders feste Verbindung zwischen dem Armierungsring und der Rotorscheibe wird erreicht, wenn der Armierungsring und die Rotorscheibe bei Raumtemperatur ein radiales Übermaß zwischen 0,0005 und 0,04 mm, bevorzugt zwischen 0,0008 und 0,03 mm und besonders bevorzugt zwischen 0,001 und 0,025 mm aufweisen. Eine besonders feste Verbindung zwischen der Rotorscheibe und der Rotorwelle wird erreicht, wenn die armierte Rotorscheibe und die Rotorwelle bei Raumtemperatur ein radiales Übermaß zwischen 0,01 und 0,1 mm, bevorzugt zwischen 0,02 und 0,08 mm und besonders bevorzugt zwischen 0,04 und 0,06 mm aufweisen.

**[0035]** Der Armierungsring kann so auf die Rotorscheibe aufgebracht werden, dass die entstehende Verbindung einen zylindermantelförmigen Kontaktbereich zwischen einer radialen Innenfläche des Armierungsrings und einer radialen Außenfläche der Rotorscheibe umfasst, in dem der Armierungsring und die Rotorscheibe gegeneinandergepresst werden. Die Rotorscheibe kann so auf die Rotorwelle aufgebracht werden, dass die entstehende Verbindung einen zylindermantelförmigen Kontaktbereich zwischen einer radialen Innenfläche der Rotorscheibe und einer radialen Außenfläche der Rotorwelle umfasst, in dem die Rotorscheibe und die Rotorwelle gegeneinander gepresst werden.

**[0036]** Vorzugsweise ist die Rotorscheibe als turbomolekulare Rotorscheibe ausgebildet. Die Rotorscheibe kann einen Tragring und mehrere in radialer Richtung von dem Tragring abstehende Schaufeln umfassen, welche eine Beschauflung der Rotorscheibe bilden. Der

Tragring kann einen Bund für die Schaufeln der Rotorscheibe bilden. Der Tragring weist vorzugsweise eine durchgehende Öffnung auf, durch die sich die Rotorwelle der fertigen Rotoranordnung hindurch erstreckt.

**[0037]** Der Armierungsring kann auf den Tragring der Rotorscheibe aufgebracht, insbesondere dehnpressverbunden oder aufgeschumpft, werden, so dass die radiale Außenfläche des Tragrings und die radiale Innenfläche des Armierungsrings den Kontaktbereich der Querpressverbindung bilden. Der Tragring kann zwei axiale Enden aufweisen und an einem oder an beiden axialen Enden jeweils einen in axialer Richtung über die Beschauflung hervorstehenden Abschnitt aufweisen. Auf einen oder beide dieser Abschnitte kann jeweils ein Armierungsring zum Beispiel aufgeschumpft oder dehnpressverbunden werden.

**[0038]** Die Rotorwelle ist vorzugsweise durch einen stabförmigen Körper, insbesondere Vollkörper, mit einem vorzugsweise kreisförmigen Querschnitt gebildet. Die Rotorwelle kann um eine Drehachse drehbar in einer Vakuumpumpe gelagert sein, wobei die Drehachse vorzugsweise der Längsachse der Rotorwelle entspricht.

**[0039]** Weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe, mit einer Rotorwelle, einer mit der Rotorwelle verbundenen Rotorscheibe und einem die Rotorscheibe umgebenden Armierungsring, wobei der Armierungsring mit der Rotorscheibe über eine Querpressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung oder eine Schumpfpessverbindung, verbunden ist. Die Rotoranordnung ist vorzugsweise nach einem Verfahren zur Herstellung einer Rotoranordnung gemäß der vorliegenden Beschreibung hergestellt oder herstellbar. Die hierin beschriebenen vorteilhaften Ausführungsformen und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens stellen entsprechende vorteilhafte Ausführungsformen und Vorteile der erfindungsgemäßen Rotoranordnung dar. Die Rotoranordnung zeichnet sich durch eine besonders feste Verbindung zwischen der Rotorscheibe und der Rotorwelle aus, welche auch bei sehr hohen Drehzahlen einen festen Sitz der Rotorscheibe auf der Rotorwelle gewährleistet, so dass die Vakuumpumpe bei hohen Drehzahlen betrieben werden kann und eine hohe Pumpleistung bereitstellen kann.

**[0040]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst die Rotorscheibe zwei axiale Enden, wobei an beiden axialen Enden jeweils ein Armierungsring auf die Rotorscheibe aufgebracht und die Querpressverbindung zwischen dem jeweiligen Armierungsring und der Rotorscheibe ausgebildet ist.

**[0041]** Die Rotorscheibe kann mit der Rotorwelle über eine Querpressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung oder eine Schumpfpessverbindung, verbunden sein. Die Rotorscheibe ist daher vorzugsweise auf die Rotorwelle aufgeschumpft oder mit dieser dehnpressverbunden. Der Armierungsring ist vorzugsweise nur mit genau einer Rotorscheibe verbunden, d.h. bevorzugt ist der Armierungsring nicht mit mehr als einer

Rotorscheibe und somit ausschließlich mit einer einzigen Rotorscheibe verbunden. Prinzipiell können mehrere Rotorscheiben auf die Rotorwelle aufgebracht und insbesondere aufgeschumpft oder dehnpressverbunden, sein.

**[0042]** Die Rotoranordnung kann Teil einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe, sein. Gegenstand der Erfindung ist dementsprechend auch eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, mit einer Rotoranordnung gemäß der vorliegenden Beschreibung.

**[0043]** Bevorzugt wechseln sich in der Vakuumpumpe in axialer Richtung mit der Rotorwelle verbundene Rotorscheiben mit zwischen den Rotorscheiben angeordneten Statorscheiben ab, die drehfest an der Vakuumpumpe, zum Beispiel am Gehäuse der Vakuumpumpe, befestigt sind.

**[0044]** Die Statorscheiben sind vorzugsweise als einheitlich zusammenhängender und insbesondere materialeinheitlicher Körper ausgebildet. Eine Statorscheibe umfasst vorzugsweise jeweils eine durchgehende Öffnung, durch die sich die Rotorwelle hindurch erstreckt.

**[0045]** Bevorzugt ist es, wenn der wenigstens eine Armierungsring ganz oder teilweise aus einem faserverstärkten Kunststoff, insbesondere einem kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff (CFK), besteht. Der Kunststoff kann dabei HT- oder ST-Fasern umfassen.

**[0046]** Die eine oder mehreren Rotorscheiben sind vorzugsweise als turbomolekulare Rotorscheiben ausgebildet.

**[0047]** Eine Vakuumpumpe gemäß der Erfindung umfasst eine wie vorstehend beschriebene Rotoranordnung. Die Rotorwelle ist dabei vorzugsweise an zwei axialen Enden um eine Drehachse drehbar gelagert, wobei die eine oder mehreren Rotorscheiben in einem zwischen den beiden Lagern angeordneten Abschnitt der Rotorwelle auf die Rotorwelle aufgebracht sein können. Dabei kann ein Lager als Wälzlager ausgebildet sein und/oder ein Lager, welches insbesondere der Hochvakuumseite der Pumpe zugeordnet ist, kann als Magnetlager und insbesondere als Permanentmagnetlager ausgebildet sein.

**[0048]** Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand einer vorteilhaften Ausführungsform und unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Rotorscheibe, eine Rotorwelle und zwei Armierungsringe für die Herstellung einer Rotoranordnung nach einem Verfahren gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Seitenansicht,

Fig. 2 eine Rotoranordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Draufsicht, und

Fig. 3 einen Ausschnitt einer Vakuumpumpe mit einer Rotoranordnung gemäß einer Ausführungs-

form der Erfindung im Querschnitt.

**[0049]** Fig. 1 zeigt eine Rotorwelle 10, die sich entlang einer Achse 20 erstreckt, und eine mit der Rotorwelle 10 drehfest zu verbindende Rotorscheibe 12 mit einem Tragring 22 und mehreren in radialer Richtung von dem Tragring 22 abstehenden Schaufeln 24, welche eine Beschaukelung der Rotorscheibe 12 bilden. Die Rotorwelle 10 weist gegenüber der durch den Tragring 22 gebildeten Öffnung zur Aufnahme der Rotorwelle 10 ein radiales Übermaß auf. Ferner sind zwei Armierungsringe 14 für die Rotorscheibe 12 dargestellt, welche gegenüber den axialen Endabschnitten der Rotorscheibe 12 ein radiales Übermaß aufweisen.

**[0050]** Zur Herstellung der Rotoranordnung werden zunächst die beiden Armierungsringe 14 auf jeweils einen der in axialer Richtung über die Beschaukelung der Rotorscheiben 12 hervorstehenden Abschnitte unter Ausbildung einer Querpressverbindung aufgebracht, insbesondere in Art einer Dehnpressverbindung. Dazu wird die Rotorscheibe 12 abgekühlt, so dass sich die Rotorscheibe 12 zusammenzieht. Anschließend werden die Armierungsringe 14 auf die beiden axialen Endabschnitte der Rotorscheibe 12 aufgeschoben. Das radiale Übermaß wird dabei durch die Schrumpfung der Rotorscheibe 12 ausgeglichen, so dass die Armierungsringe 14 ohne wesentlichen Widerstand auf die Rotorscheibe 12 aufgebracht werden können. Wenn sich die Rotorscheibe 12 anschließend wieder auf Raumtemperatur erwärmt und sich dabei wieder ausdehnt, wird automatisch eine äußerst feste und sichere Dehnpressverbindung zwischen der Rotorscheibe 12 und den Armierungsringen 14 hergestellt.

**[0051]** Die Armierungsringe 14 können auch auf dem jeweiligen hervorstehenden Abschnitt der Rotorscheibe 12 aufgeschumpft werden. Dazu wird jeder Armierungsring 14 erwärmt, so dass er sich ausdehnt und das radiale Übermaß des jeweiligen hervorstehenden Abschnitts ausgeglichen wird und der jeweilige Armierungsring 14 somit ohne wesentlichen Widerstand aufgesteckt werden kann. Wenn sich der Armierungsring zusammenzieht, wird automatisch eine äußerst feste Schrumpfpresverbindung zwischen dem jeweiligen Armierungsring 14 und der Rotorscheibe 12 ausgebildet.

**[0052]** Nach dem Aufbringen der Armierungsringe 14 auf die Rotorscheibe 12 wird die Rotorscheibe 12 mit den Armierungsringen 14 auf die Rotorwelle 10 aufgeschumpft oder dehnpressverbunden. Dazu wird zum Beispiel die Rotorwelle 10 abgekühlt, so dass sich die Rotorwelle 10 zusammenzieht und einen kleineren Außendurchmesser annimmt, welcher im Wesentlichen dem Innendurchmesser der Rotorscheibe 12 entspricht. In diesem Zustand kann die Rotorscheibe 12 ohne wesentlichen Widerstand auf die Rotorwelle 10 aufgebracht werden. Wenn sich die Rotorwelle 10 daraufhin wieder auf Zimmertemperatur erwärmt und sich wieder ausdehnt, wird automatisch eine äußerst feste und sichere Pressverbindung zwischen der Rotorscheibe 12 und der

Rotorwelle 10 hergestellt.

**[0053]** Obwohl in Fig. 1 beispielhaft nur eine Rotorscheibe 12 dargestellt ist, werden vorzugsweise mehrere Rotorscheiben 12 einzeln auf die abgekühlte Rotorwelle 10 aufgebracht und beim anschließenden Erwärmen der Rotorwelle 10 auf Zimmertemperatur gemeinsam mit der Rotorwelle 10 verbunden, um eine Rotoranordnung mit mehreren in axialer Richtung aufeinanderfolgenden Rotorscheiben 12 zu schaffen.

**[0054]** Fig. 2 zeigt eine Rotoranordnung in Draufsicht, welche gemäß dem vorstehend unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschriebenen Verfahren herstellbar ist. Zwischen der radialen Innenfläche des Armierungsrings 14 und der radialen Außenfläche des Tragrings 22 der Rotorscheibe 12 und zwischen der radialen Innenfläche des Tragrings 22 der Rotorscheibe 12 und der radialen Außenfläche der Rotorwelle 10 besteht jeweils eine Querpressverbindung, welche die genannten Flächen derart gegeneinanderpresst, dass ein fester und äußerst sicherer Sitz der Rotorscheibe 12 auf der Rotorwelle 10 gewährleistet ist.

**[0055]** Fig. 3 zeigt eine Vakuumpumpe mit einer Rotoranordnung mit mehreren Rotorscheiben 12, die in der vorstehend unter Bezugnahme auf Fig. 1 und 2 beschriebenen Weise auf eine gemeinsame Rotorwelle 10 aufgebracht worden sind. Bei dem Aufbringen der Rotorscheiben 12 auf die Rotorwelle 10 ist berücksichtigt worden, dass sich die Rotorscheiben 12 in axialer Richtung mit Statorscheiben 16 abwechseln, die an einem nicht gezeigten Gehäuse befestigt sind. Von den Statorscheiben 16 sind in Fig. 3 nur die Schaufeln gezeigt, die sich ausgehend von den radial außenseitig angeordneten und von dem Gehäuse der Vakuumpumpe getragenen Tragringen der Statorscheiben 16 in radialer Richtung nach innen erstrecken. Die Schaufeln 24 der Rotorscheiben 12 bilden mit den Schaufeln der in axialer Richtung benachbarten Statorscheiben 16 jeweils eine turbomolekulare Pumpstufe, welche eine in axialer Richtung gerichtete Pumpwirkung bereitstellt. Die auf die Rotorscheiben 12 aufgebrachten Armierungsringe 14 bewirken dabei eine derart feste Verbindung zwischen den Rotorscheiben 12 und der Rotorwelle 10 so, dass die Vakuumpumpe gefahrlos mit sehr hohen Drehzahlen und Drehmomenten betrieben werden kann und dementsprechend eine hohe Pumpleistung bereitstellen kann.

**[0056]** Fig. 3 zeigt, dass die Armierungsringe 14 jeweils in Richtung der Achse 20 der Rotorwelle 10 nicht über den jeweiligen zentralen Tragring 22 der Rotorscheibe 12 hinaus vorstehen, sondern gegenüber dem betreffenden axialen Ende des Tragrings 22 zurückspringen. Alternativ kann jeweils ein zumindest näherungsweise axial bündiger Abschluss zwischen Armierungsring 14 und axialem Ende des Tragrings 22 vorgesehen sein.

**[0057]** Jeder Armierungsring 14 ist nur mit genau einer einzigen Rotorscheibe 12 verbunden. Zwischen einander zugewandten Seiten zweier axial unmittelbar aufeinanderfolgender Rotorscheiben 12 ist folglich nicht nur

ein einziges, beiden Rotorscheiben 12 zugeordnetes, etwa rohr- oder hülsenförmiges Armierungselement vorgesehen, sondern es sind dort zwei separate, mit axialem Abstand voneinander angeordnete Armierungsringe 14 vorgesehen, die jeweils nur genau einer einzigen Rotorscheibe 12 zugeordnet sind.

### Bezugszeichenliste

[0058]

10	Rotorwelle
12	Rotorscheibe
14	Armierungsring
16	Statorscheibe
20	Achse
22	Tragring
24	Schaufeln

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe, welche eine Rotorwelle (10), wenigstens eine mit der Rotorwelle (10) verbundene Rotorscheibe (12) und wenigstens einen die Rotorscheibe (12) umgebenden Armierungsring (14) aufweist, wobei das Verfahren umfasst, dass zwischen dem Armierungsring (14) und der Rotorscheibe (12) eine Querpressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung oder eine Schrumpfpresverbindung, ausgebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ausbildung der Querpressverbindung die Rotorscheibe (12) abgekühlt und der Armierungsring (14) dann auf die abgekühlte Rotorscheibe (12) aufgebracht, wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ausbildung der Schrumpfpresverbindung der Armierungsring (14) erwärmt und dann auf die Rotorscheibe (12) aufgebracht, insbesondere aufgeschumpft wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotorscheibe (12) zwei axiale Enden umfasst, wobei an beiden axialen Enden jeweils ein Armierungsring (14) auf die Rotorscheibe (12) aufgebracht und die Querpressverbindung zwischen dem jeweiligen Armierungsring (14) und der Rotorscheibe (12) ausgebildet wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Armierungsring (14) nur mit genau einer Rotorscheibe (12) verbunden wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotorscheibe (12), bevorzugt nach dem Querpressverbinden mit dem Armierungsring (14), auf die Rotorwelle (10) aufgebracht wird, wobei insbesondere zwischen der Rotorscheibe (12) und der Rotorwelle (10) eine Querpressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung oder eine Schrumpfpresverbindung, ausgebildet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Rotorscheiben (12) auf die Rotorwelle (10) aufgebracht werden, insbesondere unter Ausbildung einer Dehnpress- oder Schrumpfpresverbindung zwischen der jeweiligen Rotorscheibe (12) und der Rotorwelle (10).
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotorscheiben (12) in einem gemeinsamen Prozess mit der Rotorwelle (10) verbunden werden, und/oder dass die Rotorscheiben (12) einzeln auf die Rotorwelle (10) aufgebracht werden.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rotorscheiben (12) derart auf die Rotorwelle (10) aufgebracht werden, dass sich diese in der Vakuumpumpe in axialer Richtung mit zwischen den Rotorscheiben (12) liegenden Statorscheiben (16), die bevorzugt an einem Gehäuse der Vakuumpumpe angeordnet sind oder angebracht werden, abwechseln.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Armierungsring (14) ganz oder teilweise aus einem faserverstärkten Kunststoff, insbesondere einem kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff und/oder einem Kunststoff mit High Tenacity Fasern oder mit Super Tenacity Fasern, besteht.
11. Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbesondere für eine Turbomolekularpumpe, mit einer Rotorwelle (10), zumindest einer mit der Rotorwelle (10) verbundenen Rotorscheibe (12) und wenigstens einem die Rotorscheibe (12), insbesondere einen zentralen Tragring (22) der Rotorscheibe (12), umgebenden Armierungsring (14), wobei der Armierungsring (14) mit der Rotorscheibe über eine Querpressverbindung, insbesondere eine Dehnpressverbindung,

dung oder eine Schrumpfpessverbindung, verbunden ist.

12. Rotoranordnung nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** 5  
 die Rotorscheibe (12) zwei axiale Enden umfasst,  
 wobei an beiden axialen Enden jeweils ein Armie-  
 rungerring (14) auf die Rotorscheibe (12) aufgebracht  
 und die Querpessverbindung zwischen dem jewei- 10  
 ligen Armierungerring (14) und der Rotorscheibe (12)  
 ausgebildet ist.
13. Rotoranordnung nach Anspruch 11 oder 12,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** 15  
 die Rotorscheibe (12) mit der Rotorwelle (10) über  
 eine Querpessverbindung, insbesondere eine  
 Dehnpressverbindung oder eine Schrumpfpessver-  
 bindung, verbunden ist, und/oder dass  
 der Armierungerring (14) nur mit genau einer Rotor- 20  
 scheibe (12) verbunden ist.
14. Rotoranordnung nach einem der Ansprüche 11 bis  
 13,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 der Armierungerring (14) in Richtung einer Achse (20) 25  
 der Rotorwelle (10) nicht über die Rotorscheibe (12),  
 insbesondere nicht über einen zentralen Tragring  
 (22) der Rotorscheibe (12), hinaus vorsteht.
15. Rotoranordnung für eine Vakuumpumpe, insbeson- 30  
 dere für eine Turbomolekularpumpe, mit einer Ro-  
 torwelle (10), zumindest einer mit der Rotorwelle (10)  
 verbundenen Rotorscheibe (12) und wenigstens ei-  
 nem die Rotorscheibe (12), insbesondere einen zen- 35  
 tralen Tragring (22) der Rotorscheibe (12), umge-  
 benden Armierungerring (14), wobei die Rotoranord-  
 nung durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche  
 1 bis 10 hergestellt oder herstellbar ist.

40

45

50

55

Fig. 1

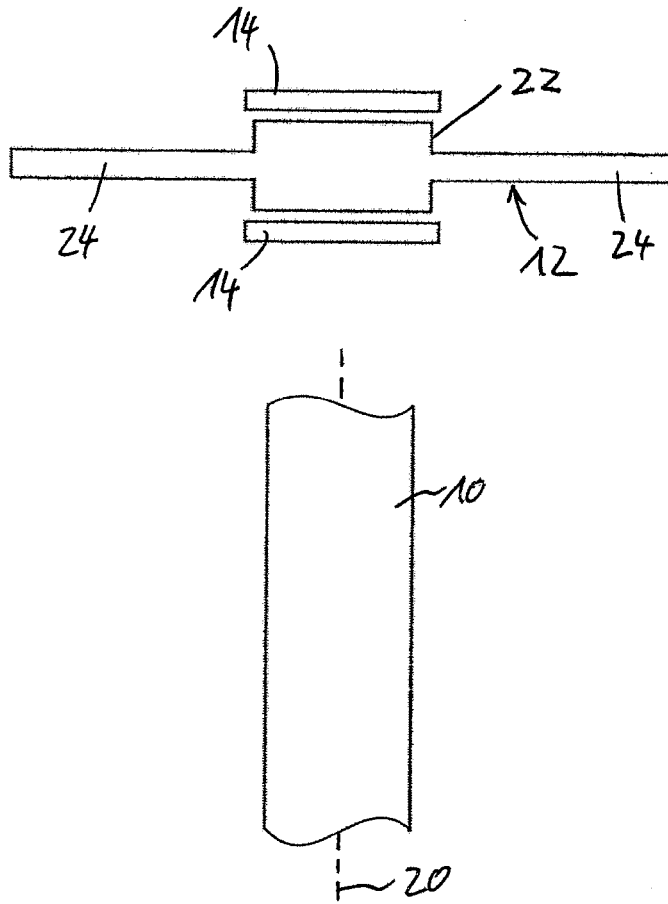


Fig. 2

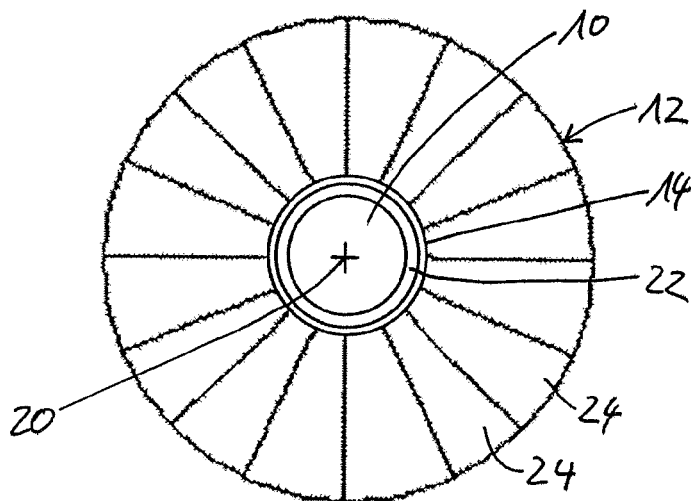
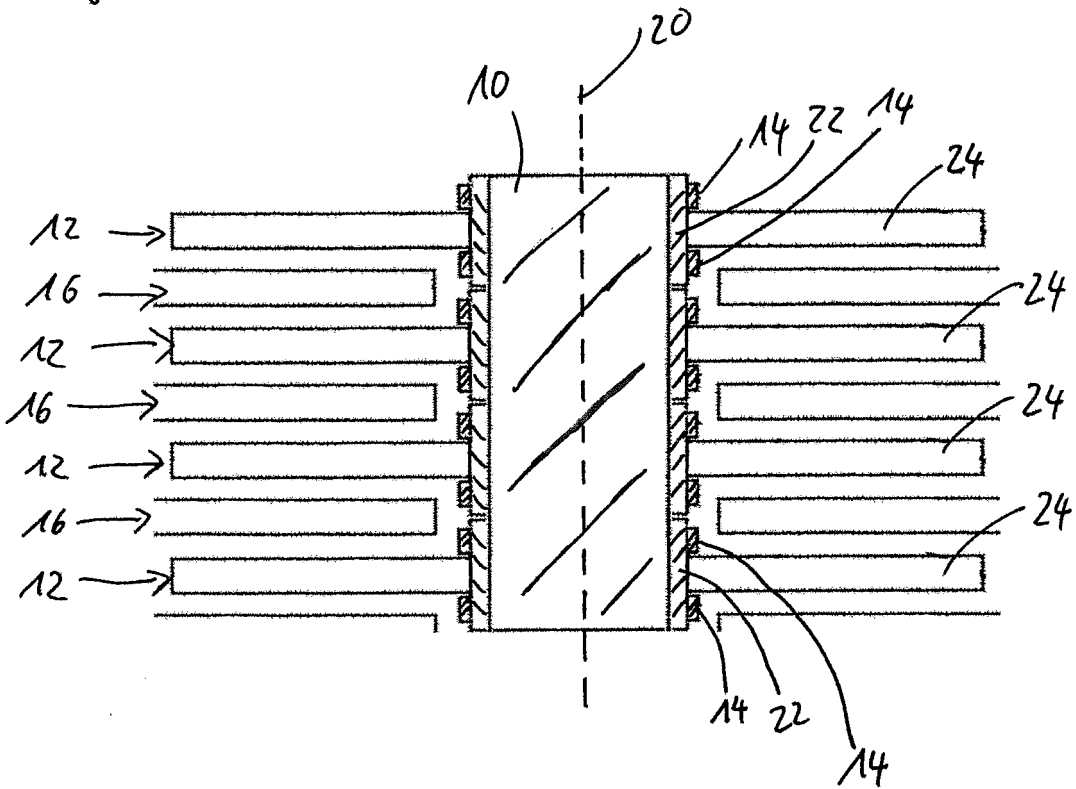


Fig. 3



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1096152 A2 [0003]
- EP 0967405 A2 [0003]
- WO 2009049988 A1 [0004]